

Impacto do Posicionamento da UPF na Borda sobre a Qualidade de Serviço em Redes 5G Privadas

Lucas Mendes de Souza , Pedro Antônio de Andrade da Silva , Adelson Ataíde dos Santos Neto , Igor Forcelli Silva  e Paulo Ditarso Maciel Jr. 

Resumo—Este artigo investiga o impacto do posicionamento da *User Plane Function* (UPF) em redes 5G privadas sobre a Qualidade de Serviço (QoS) em transmissões de vídeo em tempo real. Utilizando um *testbed* de software baseado em free5GC, UERANSIM e Mininet, foram simulados três cenários distintos de alocação da UPF, com e sem tráfego de fundo. Os resultados demonstram que a proximidade entre a UPF e a rede de acesso reduz a latência e melhora métricas como vazão e taxa de quadros por segundo, especialmente sob condições de congestionamento, evidenciando a importância do posicionamento estratégico da UPF para aplicações sensíveis à latência.

Palavras-Chave—5G privado, QoS, UPF, transmissão de vídeo.

Abstract—This paper investigates the impact of User Plane Function (UPF) placement in private 5G networks on Quality of Service (QoS) in real-time video transmissions. Using a software testbed based on free5GC, UERANSIM, and Mininet, three different UPF allocation scenarios were simulated, with and without background traffic. The results demonstrate that the UPF and access network proximity reduces latency and improves metrics such as throughput and frame rate per second, especially under congestion conditions, highlighting the importance of strategic UPF placement for latency-sensitive applications.

Keywords—Private 5G, QoS, UPF, Video Streaming.

I. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 estimulou o surgimento de aplicações com requisitos cada vez mais exigentes, cujo objetivo é promover a integração em tempo real entre indivíduos, dispositivos, sensores, sistemas ciberfísicos e processos industriais. Aplicações convencionais, majoritariamente associadas a tarefas operacionais de menor complexidade, como controle de movimento, sistemas de segurança e monitoramento básico de equipamentos, caracterizam-se por demandar confiabilidade, baixa latência e taxas de transmissão de dados moderadas. Já aplicações inovadoras e de maior complexidade, tais como realidade aumentada, visão computacional e logística autônoma, impõem requisitos mais rigorosos, incluindo elevadas taxas de dados, escalabilidade, alta confiabilidade, além de enfatizarem aspectos relacionados à flexibilidade e à capacidade de adaptação a diferentes cenários operacionais [1].

A quinta geração de redes de comunicação móvel (5G) ampliou significativamente o escopo das redes sem fio, ultra-

passando o atendimento exclusivo a usuários humanos, para tornar-se um sistema de comunicação integrado e orientado a múltiplos domínios. Essa evolução tecnológica suporta aplicações verticais características da Indústria 4.0, contemplando setores como o industrial, automotivo, da saúde, agrícola e manufatureiro [2]. A tecnologia 5G distingue-se por proporcionar elevadas taxas de transmissão de dados, latência reduzida e alta escalabilidade, configurando-se como uma transformação paradigmática na infraestrutura das telecomunicações. Nesse contexto, o 5G consolida-se como uma solução integradora, capaz de oferecer conectividade móvel de alto desempenho e atender, de forma eficiente, aos requisitos críticos das aplicações industriais contemporâneas [3].

O crescente reconhecimento do potencial das redes privadas 5G no ambiente industrial tem impulsionado o uso de aplicações avançadas, como visão computacional, realidade aumentada e outras soluções baseadas em transmissão de vídeo com requisitos rigorosos. Para garantir a qualidade dessas transmissões, é fundamental assegurar uma adequada Qualidade de Serviço (QoS, do inglês *Quality of Service*) na rede. Entre os principais parâmetros de rede que impactam diretamente a qualidade do vídeo, destacam-se a taxa de bits, a latência, o *jitter* e a taxa de perda de pacotes. A análise e interpretação dessas métricas variam conforme o tipo de aplicação e os protocolos utilizados nas camadas superiores do modelo de comunicação [4].

A tecnologia 5G foi concebida com base nas arquiteturas das gerações anteriores de redes móveis, mas introduz uma inovação fundamental: a Arquitetura Baseada em Serviços (SBA, do inglês *Service-Based Architecture*). Nessa abordagem, as funções de rede são implementadas como serviços independentes e interoperáveis, o que promove maior flexibilidade, modularidade e escalabilidade. Essas funções são distribuídas entre dois planos distintos: o plano de controle, responsável pelo gerenciamento e sinalização da rede; e o plano de usuário, que se encarrega do encaminhamento efetivo dos dados [5]. Apesar dos avanços, a adoção da SBA impõe novos desafios ao gerenciamento das redes 5G, especialmente no que se refere à orquestração e ao posicionamento adequado das funções de rede. A localização de elementos como a *User Plane Function* (UPF) tem impacto direto na QoS e, conseqüentemente, na experiência percebida pelo usuário final. Nesse contexto, a realização de experimentos em ambientes controlados e de menor escala surge como uma estratégia eficaz para contornar essas complexidades, possibilitando uma análise detalhada do desempenho da rede em diferentes configurações [6]–[7].

Lucas M. de Souza, e-mail: souza.mendes@academico.ifpb.edu.br; Pedro A. de Andrade da Silva, e-mail: andrade.antonio@academico.ifpb.edu.br; Adelson A. dos Santos Neto, e-mail: adelson.ataide@academico.ifpb.edu.br; Igor F. Silva, e-mail: forcelli.igor@academico.ifpb.edu.br; Paulo Ditarso Maciel Jr., e-mail: paulo.maciel@ifpb.edu.br. Unidade Acadêmica de Controle e Processos Industriais, Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB).

O posicionamento da UPF em redes 5G privadas envolve desafios importantes relacionados à latência, QoS, escalabilidade, gerenciamento e custos. Uma alocação inadequada pode comprometer serviços sensíveis ao tempo, dificultar a orquestração da rede e elevar os custos operacionais. Diante disso, este artigo avalia, por meio de um *testbed* de software, o impacto de diferentes posicionamentos da UPF sobre métricas como latência, vazão, *jitter* e perda de pacotes em transmissões de vídeo em tempo real. Os resultados fornecem *insights* relevantes para o planejamento eficiente de redes 5G voltadas a aplicações críticas e de baixa latência. Em particular, os resultados evidenciam que a alocação da UPF em proximidade com a borda da rede, junto ao nó de acesso, resulta em maior estabilidade na taxa de transferência e menor deterioração do desempenho em termos de taxa de quadros por segundo (FPS), mesmo sob condições de congestionamento de tráfego.

Adiante neste artigo, a Seção II apresenta alguns trabalhos relacionados; a metodologia de avaliação é detalhada na Seção III; a Seção IV discute os resultados obtidos; e as conclusões são apresentadas na Seção V.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho em [8] explora a transformação acelerada do setor de telecomunicações impulsionada pela adoção do 5G e pelos requisitos da Indústria 4.0. Segundo os autores, as redes atuais enfrentam grandes desafios relacionados à latência, confiabilidade e qualidade de serviço, exigindo novas abordagens e soluções tecnológicas. Para investigar essas questões, os autores desenvolveram um ambiente simulado de rede 5G, no qual as funções de rede são implementadas utilizando o *free5GC* , orquestrado por meio de *containers* com *Docker Compose* . Tal abordagem permitiu a criação de um ambiente de testes flexível e configurável, voltado à simulação da arquitetura de computação de borda (*edge computing*) em diferentes cenários. No ambiente proposto, o UERANSIM é utilizado para simular dispositivos de usuário e estações rádio base (antenas) 5G, possibilitando a análise do comportamento de dispositivos móveis ao se conectarem ao núcleo e acessarem a rede de dados (*Data Network – DN*), tanto localmente, via borda, quanto remotamente, via *datacenter* . As ferramentas adotadas forneceram uma visão aprofundada sobre o gerenciamento das funções de rede no núcleo do 5G, além de facilitar o controle e monitoramento da infraestrutura de rede. Mesmo em um ambiente simulado, os experimentos demonstraram o potencial da computação de borda para a redução da latência. Os resultados obtidos evidenciam uma diminuição significativa do tempo de resposta, de 160 ms para 1,3 ms, ao comparar o acesso remoto via *datacenter* com o acesso local por meio da borda. Embora apresente uma abordagem semelhante na configuração de *testbeds* 5G, o trabalho não contempla a avaliação de características específicas de desempenho relacionadas a aplicações de vídeo em contextos industriais.

Os autores em [9] utilizam o *free5GC* em conjunto com máquinas virtuais para investigar uma abordagem dinâmica em redes privadas 5G. A motivação do estudo está relacionada ao crescimento de aplicações industriais com requisitos rigorosos de desempenho — especialmente quanto à baixa latência —

e à constatação de que abordagens centralizadas para o posicionamento das funções de usuário (UPFs) têm se mostrado limitadas em cenários práticos. Com base em experimentos conduzidos em ambientes virtualizados, os autores propõem o posicionamento adaptativo das UPFs, ajustando sua localização de forma dinâmica de acordo com as condições da rede. Essa estratégia demonstrou ser eficaz na redução da latência e na adequação da rede às exigências dos serviços industriais. Apesar da relevância da abordagem proposta, o estudo não se aprofunda na avaliação do impacto dessa adaptação sobre aplicações industriais específicas. Em particular, não são consideradas métricas de desempenho associadas ao tráfego de vídeo sensível ao tempo, amplamente utilizado em ambientes industriais para monitoramento e controle de processos. Essa lacuna é abordada no presente trabalho, que analisa de forma detalhada o comportamento de uma aplicação de vídeo industrial em um *testbed* 5G, considerando diferentes cenários de posicionamento das funções de rede e seus efeitos sobre os requisitos de qualidade de serviço.

Os autores em [10] exploram os desafios impostos pelas aplicações modernas de vídeo e propuseram um experimento baseado em arquitetura de *edge computing* , com o objetivo de aproximar os serviços de *streaming* do usuário final. A proposta busca reduzir o consumo de largura de banda, energia e demais custos operacionais associados ao processamento remoto. Para isso, os autores utilizaram o *Fog05* , um sistema de orquestração e controle que gerencia a distribuição de funções de rede entre a nuvem, a borda e a camada de neblina (*fog*). No experimento, o processamento intensivo de vídeo foi mantido na nuvem, enquanto funções de controle e entrega de conteúdo foram deslocadas para a borda, mais próximas ao dispositivo do usuário. Essa estratégia de distribuição visou não apenas aumentar o desempenho geral da aplicação, mas também minimizar o tráfego de retorno à nuvem. Os resultados evidenciaram ganhos expressivos em eficiência, com reduções no consumo de banda e energia, além de reforçarem o potencial do 5G em suportar aplicações de vídeo imersivas com requisitos exigentes de desempenho. No entanto, apesar de abordar aspectos relevantes da distribuição de funções em redes avançadas, o trabalho não foca em aplicações industriais, onde os fluxos de vídeo apresentam características particulares, como sensibilidade a *jitter* e requisitos de QoS mais rigorosos. Diferentemente, o presente trabalho avalia o comportamento de uma aplicação de vídeo industrial em um *testbed* 5G, analisando como o posicionamento das funções de rede pode impactar diretamente na qualidade de serviço em cenários industriais sensíveis ao tempo.

Em [11], a arquitetura de *Network Slicing* foi utilizada para propor uma estrutura voltada ao atendimento das exigências de aplicações de *streaming* de vídeo em alta resolução em redes 5G. Utilizando o *free5GC* e o simulador UERANSIM, o autor construiu um ambiente virtualizado com o objetivo de emular o comportamento real da rede e analisar a performance dos diferentes segmentos da aplicação. Para viabilizar uma alocação eficiente dos recursos de rede, foi empregada uma rede neural profunda que auxiliou na identificação e separação precisa dos *slices* , de acordo com o tipo de tráfego gerado por cada componente da aplicação. Os testes

realizados demonstraram que a abordagem proposta é capaz de manter níveis satisfatórios de desempenho mesmo em cenários congestionados. Em particular, o *slice* dedicado ao tráfego de vídeo apresentou uma taxa média de transmissão de 10,71 Mbps, mesmo sob a presença de tráfego simultâneo proveniente de aplicações típicas da Internet das Coisas (IoT) e de acesso convencional à internet. Esses resultados evidenciam a eficácia da estratégia de *slicing* aliada à inteligência artificial na garantia de QoS para aplicações multimídia. Entretanto, o trabalho foca predominantemente na alocação inteligente de tráfego em redes virtuais, sem abordar diretamente o impacto do posicionamento das funções de rede ou a influência da infraestrutura de borda sobre o desempenho de aplicações industriais sensíveis ao tempo. Diferentemente, o presente estudo investiga como o posicionamento das UPFs em um ambiente 5G pode afetar a qualidade de serviços de vídeo em cenários industriais, onde os requisitos de latência, jitter e estabilidade são mais restritivos.

Estes estudos evidenciam que a Indústria 4.0 impõe exigências rigorosas às redes, tornando essencial o uso de ambientes de simulação para testar estratégias de desempenho. Ferramentas como *free5GC* e *UERANSIM* destacam-se por permitir simulações realistas, contribuindo para o avanço das pesquisas e para a proposta de novas soluções.

III. METODOLOGIA

Este artigo tem como objetivo investigar, por meio de um *testbed* de software, como o posicionamento estratégico da função UPF afeta as principais métricas de desempenho de rede e a QoS em transmissões de vídeo em tempo real em redes 5G privadas. A UPF, por ser responsável pelo encaminhamento de dados do usuário, tem sua localização diretamente associada a parâmetros críticos como latência, taxa de transferência e *jitter*. Considerando o rigor dos requisitos de aplicações industriais sensíveis ao tempo, como o vídeo em alta resolução, o estudo realiza experimentos controlados com diferentes alocações da UPF, avaliando seus efeitos sob distintas condições de tráfego e topologias. A utilização do *testbed* possibilita a simulação realista de cenários operacionais, fornecendo subsídios técnicos relevantes para otimizar o planejamento, a operação e a adaptação dinâmica de redes 5G privadas.

Os testes de análise de desempenho foram conduzidos em um ambiente controlado para assegurar reprodutibilidade na execução dos experimentos. As especificações detalhadas da máquina utilizada como ambiente de teste são: CPU de 3.5 GHz 8-Core Intel Xeon, 80GB de memória RAM 2133 MHz DDR4 e HDD com capacidade de 1 TB. O ambiente de teste configurado no servidor está ilustrado na Figura 1. As máquinas virtuais VM 01, VM 02, VM 03 e VM 04 representam, respectivamente: a rede de acesso com o *UERANSIM*; o 5G core (5GC) juntamente com as funções de rede, tal como a UPF; o cliente que consumirá o vídeo transmitido; e a rede de transporte emulada pelo Mininet. O sistema operacional utilizado na VM 01 e VM 02 foi o *Ubuntu 20.04 LTS* e na VM 03 e VM 04 foi o *Ubuntu 24.04 LTS*. Na VM 02 foi instalado o *Free5GC v4.0.0*, o qual implementa o 5GC da rede privada. Na VM 04 foi criada uma topologia de rede com

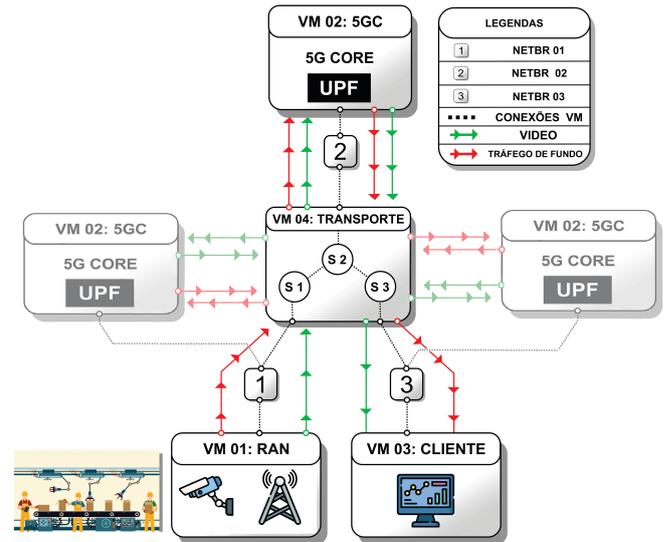


Fig. 1

AMBIENTE DE TESTE VIRTUAL DA REDE 5G PRIVADA.

três *switches* (S1, S2 e S3) em linha, sendo cada um conectado unicamente a uma rede virtual isolada (NETBR 01, NETBR 02 e NETBR 03) criada pelo gerenciador de máquinas virtuais KVM. Além disso, o enlace entre os *switches* foi configurado com uma largura de banda de 200 Mbps e 2 ms de atraso.

Os experimentos foram repetidos em três cenários distintos, onde a VM 02, contendo o 5GC e a UPF, foi posicionada na NETBR 01, 02 ou 03. Assim, foi possível avaliar 3 cenários de posicionamento da UPF, um mais próximo à rede de acesso (NETBR 01), outro mais próximo do cliente com a aplicação de visão computacional (NETBR 03) e uma posição intermediária (NETBR 02). Cada cenário foi avaliado sem e com a interferência de um tráfego de fundo, gerado sinteticamente pela ferramenta *iPerf* (através de 5 fluxos TCP paralelos, configurados para consumir o máximo da largura de banda). As métricas coletadas para avaliar cada cenário foram a vazão da rede, medida através do *iPerf*, e a taxa de FPS entregue ao cliente, capturada com auxílio de uma biblioteca de visão computacional (APÊNDICE). A coleta de cada métrica ocorreu de maneira não simultânea, a cada 1 segundo e durante um período de medição de 300 segundos. Durante a realização da medição do FPS foi utilizado o *FFmpeg* para transmitir a partir da VM 01 um vídeo em resolução Full HD (1920x1080) a 30 FPS usando o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*).

IV. RESULTADOS

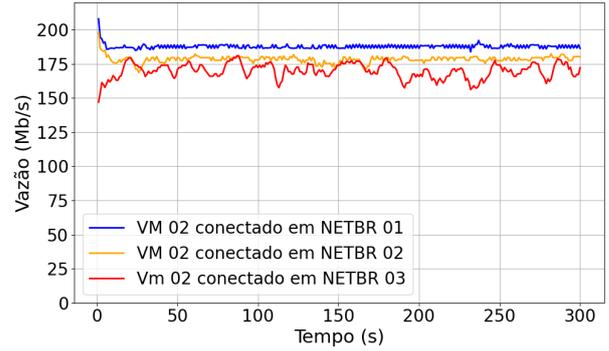
A Fig. 2 apresenta a taxa de bits ao longo do tempo nos três cenários de posicionamento da UPF, com e sem tráfego de fundo. No cenário sem tráfego de fundo (Fig. 2a), observa-se que o posicionamento da UPF junto à NETBR 01 proporcionou o melhor desempenho, com uma vazão média de 187.66 Mbps e baixa variabilidade. Em seguida, a conexão com a NETBR 02 obteve uma média de 178.35 Mbps, enquanto a NETBR 03 apresentou a menor vazão, com 169.91 Mbps, e maior instabilidade. No cenário com tráfego de

fundo (Fig. 2b), todas as conexões sofreram quedas significativas de desempenho, com oscilações acentuadas. A NETBR 01 manteve os maiores picos de vazão (próximos a 100 Mbps) e obteve média de 31.43 Mbps com flutuações bruscas. Já a NETBR 02 apresentou um desempenho mais estável, com picos mais modestos (~ 60 Mbps) atingindo uma média de vazão de 35.69 Mbps. Por fim, a NETBR 03 novamente registrou os menores valores, majoritariamente abaixo de 40 Mbps, e o menor valor médio de vazão, com 30.65 Mbps. Esses resultados indicam que o posicionamento da UPF impacta diretamente o desempenho da rede, especialmente em condições de congestionamento, com a NETBR 01 oferecendo melhor desempenho em termos de vazão, ainda que menos resiliente à presença de tráfego de fundo.

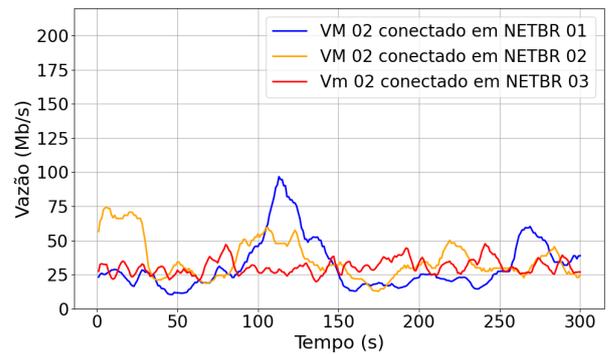
A explicação para os resultados acima está na proximidade entre o *core* da rede 5G (em especial a função UPF) e a rede de acesso de rádio, que exerce influência direta sobre o desempenho da rede, sobretudo em termos de vazão e latência. Quando a UPF está posicionada mais próxima da gNB, seja fisicamente ou logicamente, há redução na latência, menor número de saltos intermediários e otimização do encaminhamento de pacotes, o que favorece aplicações com requisitos de tempo crítico e melhora a estabilidade da vazão. Além disso, o uso do túnel GTP (*GPRS Tunneling Protocol*), necessário para o transporte de dados do usuário entre a gNB e a UPF, introduz overhead adicional devido ao encapsulamento dos pacotes, impactando negativamente a eficiência do enlace, especialmente em cenários congestionados ou com recursos computacionais limitados. Assim, a combinação de uma arquitetura distribuída, com o core mais próximo da borda e a otimização do caminho do túnel GTP é fundamental para garantir maior desempenho e qualidade de serviço em redes 5G privadas.

A Fig. 3 apresenta a função de distribuição acumulada (CDF) da taxa de quadros por segundo (FPS) recebidos por uma aplicação de visão computacional, a partir do *streaming* de vídeo transmitido pela rede 5G. No cenário sem tráfego de fundo (Fig. 3a), observa-se que os três posicionamentos de UPF resultaram em distribuições semelhantes, com a maioria dos valores de FPS situados entre 25 e 40. Ainda assim, a conexão com a NETBR 01 apresentou desempenho ligeiramente superior, com valores mais elevados de FPS para a mesma probabilidade acumulada. Já no cenário com tráfego de fundo (Fig. 3b), nota-se uma degradação significativa no desempenho, especialmente para as conexões com NETBR 02 e NETBR 03, cujas curvas se deslocam para a esquerda, indicando maior frequência de FPS reduzidos. A NETBR 01, por sua vez, manteve valores mais altos de FPS mesmo sob carga, com cerca de 50% das amostras acima de 30 FPS. Esses resultados reforçam que o posicionamento da UPF próximo à borda da rede contribui para um desempenho mais consistente e robusto, especialmente em cenários congestionados, sendo fundamental para garantir qualidade em aplicações sensíveis a variações de latência e perda de quadros.

Como complemento, a Tabela I apresenta os resultados de RTT e *jitter* em milissegundos. Percebe-se que, sem tráfego de fundo, os valores de RTT e *jitter* são semelhantes entre as três NETBRs, indicando desempenho estável independentemente do posicionamento da UPF. No entanto, com a introdução



(a) Sem tráfego de fundo



(b) Com tráfego de fundo

Fig. 2

MÉDIA MÓVEL DA VAZÃO PARA OS TRÊS CENÁRIOS AVALIADOS.

de tráfego de fundo, observa-se um impacto significativo. A NETBR 03 apresentou o melhor desempenho, com os menores valores de RTT (23.939 ms) e *jitter* (0.134 ms), enquanto a NETBR 01 teve o maior RTT (108.014 ms) e a NETBR 02, o maior *jitter* (0.721 ms). Esses resultados evidenciam que o posicionamento da UPF influencia diretamente na qualidade do serviço sob carga, sendo essencial uma escolha criteriosa para garantir baixa latência e estabilidade em aplicações industriais.

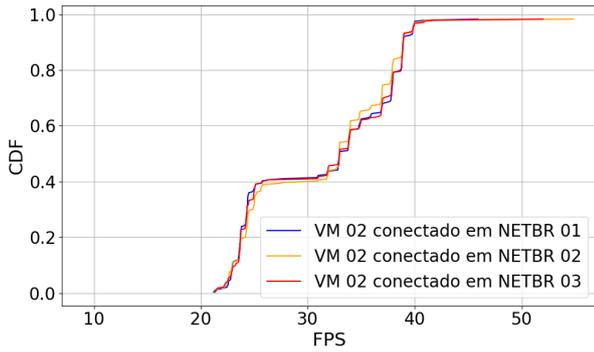
TABELA I

RESULTADOS DE RTT E JITTER, SEM E COM TRÁFEGO DE FUNDO (TF).

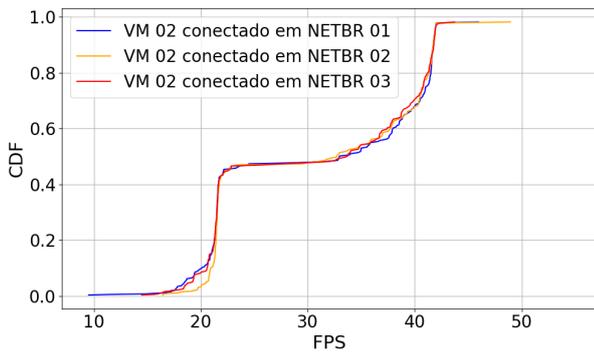
NETBR	RTT (s/ TF)	RTT (c/ TF)	<i>jitter</i> (s/ TF)	<i>jitter</i> (c/ TF)
01	11.066	108.014	0.108	0.250
02	11.694	71.548	0.117	0.721
03	11.237	23.939	0.128	0.134

V. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou experimentalmente como o posicionamento da função UPF em uma rede 5G privada impacta a Qualidade de Serviço em aplicações de vídeo em tempo real. Os resultados demonstraram que a alocação da UPF mais próxima da borda da rede — especialmente do nó de acesso (gNB) — proporciona maior estabilidade na vazão e menor degradação da taxa de quadros sob tráfego intenso. Isso se deve à redução na quantidade de saltos de rede, ao menor atraso do túnel GTP e à mitigação de sobrecarga de



(a) Sem tráfego de fundo



(b) Com tráfego de fundo

Fig. 3

CDF DA TAXA MÉDIA DE QUADROS RECEBIDOS POR SEGUNDO (FPS).

encapsulamento. Conclui-se que o posicionamento estratégico da UPF é essencial para otimizar o desempenho da rede, garantindo uma experiência de usuário mais robusta em aplicações sensíveis à latência. Como trabalho futuro, propõe-se a análise em ambientes com múltiplos usuários simultâneos e estratégias de realocação dinâmica da UPF conforme a carga de tráfego.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado com recursos do Edital Interconecta nº 1/2025 - PRPIG/IFPB.

REFERÊNCIAS

[1] A. Aijaz, "Private 5G: The Future of Industrial Wireless," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 14, no. 4, pp. 136–145, 2020.

[2] E. C. Strinati *et al.*, "Beyond 5G Private Networks: the 5G CONNI Perspective," in *2020 IEEE Globecom Workshops*, pp. 1–6, 2020.

[3] J. V. D. Luque, D. O. T. Bruno, J. de Almeida Crispim, J. R. dos Santos, and V. P. Bernardes, "A aplicabilidade da tecnologia 5G no contexto da Indústria 4.0: impulsionando IoT, IA, computação em nuvem e segurança cibernética," *Revista Brasileira de Mecatrônica*, vol. 6, no. 3, pp. 53–78, 2024.

[4] J. M. Batalla, "On analyzing video transmission over wireless WiFi and 5G C-band in harsh IIoT environments," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 118534–118541, 2020.

[5] C. S. Choudhari, R. Patil, and S. Saraf, "Deployment of 5g core for 5g private networks," in *2022 International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech)*, pp. 1–6, IEEE, 2022.

[6] I. A. Pimenta, M. S. Souza, C. A. Aquino, A. L. Portela, and R. L. Gomes, "Predição de Qualidade de Vídeo em Serviços de Streaming utilizando Redes 5G," in *Workshop de Computação Urbana (CoUrb)*, pp. 43–56, SBC, 2024.

[7] B. D. Lukoki, "Estudo do consumo e eficiência em redes 5G," 2021. TCC Graduação - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

[8] D. Kraus, "Computação de borda para indústria utilizando a rede 5G," 2021. TCC Graduação - Universidade Federal de Santa Catarina.

[9] T. Park, H. Lee, H. Kim, S. Han, T. Kim, and S. Pack, "Divide and cache: A novel control plane framework for private 5G networks," in *2023 IEEE 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pp. 417–422, IEEE, 2023.

[10] G. Rigazzi, J.-P. Kainulainen, C. Turaygyenda, A. Mourad, and J. Ahn, "An edge and fog computing platform for effective deployment of 360 video applications," in *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference workshop (WCNCW)*, pp. 1–6, IEEE, 2019.

[11] J. N. Bojacá Cabra, "Network Slicing em redes 5G para tráfego Streaming aplicando Deep Learning," Master's thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., 2024.

APÊNDICE

```

1 import cv2, time, csv
2
3 stream_url = 'udp://10.0.0.12:8554'
4
5 # Inicializa captura
6 cap = cv2.VideoCapture(stream_url)
7
8 if not cap.isOpened():
9     print("Erro ao abrir o stream de video.")
10    exit()
11
12 # Nome do arquivo CSV
13 csv_filename = "fps.csv"
14
15 # Cabecalho do CSV
16 with open(csv_filename, mode='w', newline='') as
17     csv_file:
18         writer = csv.writer(csv_file)
19         writer.writerow(["Timestamp_Relativo_s", "FPS"])
20
21 # Inicializacao
22 frame_count = 0
23 start_time_global = time.time()
24 last_log_time = start_time_global
25 log_interval = 1 # segundos
26
27 while True:
28     ret, frame = cap.read()
29     if not ret:
30         print("Fim do streaming.")
31         break
32
33     frame_count += 1
34     now = time.time()
35     elapsed = now - last_log_time
36
37     if elapsed >= log_interval:
38         fps = frame_count / elapsed
39         timestamp_relativo = now - start_time_global
40         # Salva no CSV
41         with open(csv_filename, mode='a', newline='')
42             as csv_file:
43             writer = csv.writer(csv_file)
44             writer.writerow([f"{timestamp_relativo
45                 :.2f}", f"{fps:.2f}"])
46
47         frame_count = 0
48         last_log_time = now
49
50 cap.release()
51 print("Captura encerrada, dados em ", csv_filename)

```

Código 1

CAPTURA DE VIDEO COM BIBLIOTECA DE VISAO COMPUTACIONAL.